



## Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv

Andersen, Per Dannemand; Michelsen, Poul; Nissen, Line

*Publication date:*  
2000

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Andersen, P. D., Michelsen, P., & Nissen, L. (2000). *Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv*. Risø National Laboratory. Denmark. Forskningscenter Risø. Risø-R No. 1194(DA)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv**

**P. Dannemand Andersen**

**P. Kerff Michelsen**

**L. Nissen**

**Forskningscenter Risø, Roskilde, Danmark  
Juli 2000**

**Resume** Denne rapport er udarbejdet på foranledning af Energistyrelsen. Det har været målet at udarbejde en kort artikel til Energiforskningsprogrammets (EFP) årsberetning 1999 om de internationale tendenser inden for energiforskning og -udvikling. Formålet med artiklen var at perspektivere de danske F&U-aktiviteter under EFP ved at give læseren en kort indføring i internationale udviklingstendenser inden for energiforskningen samt at give læseren et overblik over Danmarks styrkepositioner inden for energiforskningen. Artiklens målgruppe har som udgangspunkt været bred.

ISBN 87-550-2719-9 (Internet)  
ISSN 0106-2840

# Indhold

## Forord 4

## 1. Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv 5

1.1 *De store energiteknologiske udfordringer i det 21. århundrede* 5

1.2 *Ressourcer til energiforskningen* 5

1.3 *Erhvervsmæssige muligheder og eksport* 7

1.4 *Internationale prioriteringer af energiforskningen* 8

## 2. De nyeste energiteknologier 9

2.1 *Energibesparelser* 10

2.2 *Fossile brændsler* 11

2.3 *Vedvarende energi* 11

2.4 *Elektricitet og energilagring* 12

2.5 *Energiteknologioversigt* 14

## Appendiks 17

# Forord

Denne rapport er udarbejdet på foranledning af Energistyrelsen.

Det har været målet at udarbejde en kort artikel til Energiforskningsprogrammets (EFP) årsberetning 1999 om de internationale tendenser inden for energiforskning og -udvikling. Formålet med artiklen var at perspektivere de danske F&U-aktiviteter under EFP ved at give læseren en kort indføring i internationale udviklingstendenser inden for energiforskningen samt at give læseren et overblik over Danmarks styrkepositioner inden for energiforskningen.

Artiklens målgruppe har som udgangspunkt været bred.

Nærværende rapport er udarbejdet af Risø og indeholder samme tekst som artiklen fremsendt til Energistyrelsen, men teksten er udbygget med noteapparat og anden dokumentation for artiklens oplysninger og arbejdet i øvrigt.

Arbejdet bag rapporten omfatter tre områder.

For det første er forskningens nye rolle i samfundet kort beskrevet, og der er foretaget sammenligninger til energiforskningen. Herefter er der kommenteret på det forhold at energiforskningen styres af både generelle politiske temaer og af specifikke energipolitiske temaer. For eksempel "safety of supply" i 1970'erne, "employment" i 1980'erne, "environment" fra slutningen af 1980'erne (Brundtlandrapporten kom i 1987) og "energy sector deregulation" ved årtusindeskiftet. Temaerne for fremtidens energiforskning er vurderet ud fra nøglekilder fra WEC's, IEA's og IPCC's scenarier frem til år 2100. Endelig er der opstillet en række nøgletal for verdens energiforskning ud fra OECD's og IEA's statistikker, herunder forsknings- og udviklingsindsats på teknologiområder og på lande.

For det andet er der opstillet en oversigt over hvilke nye energiteknologier der forskningsmæssigt satses på internationalt, samt hvilke energiteknologier lande som Japan, USA og andre OECD lande forsker i. Dette blev gjort bl.a. ud fra bibliometriske analyser og undersøgelser af de nævnte landes energiforskningsprogrammer. De bibliometriske undersøgelser for hvert teknologisk område viste mod forventning ikke et billede der var egnet til at indikere nationale prioriteringer. Derfor er de bibliometriske undersøgelser ikke medtaget. Liste over relevante teknologier og lande er fremlagt på et møde med Energistyrelsen. I samråd mellem Risø og Energistyrelsen blev der udvalgt de energiteknologiske områder som er inkluderet i teksten, samt de lande der er sammenlignet med.

Endelig er der undersøgt på hvilke af de udvalgte områder dansk energiforskning står stærkt og mindre stærkt. Dette er blandt andet vist i lyset af dansk eksport på energiteknologiområdet og i lyset af den nylige internationale evaluering af EFP.

# 1. Dansk energiforskning i et internationalt perspektiv

## 1.1 De store energiteknologiske udfordringer i det 21. århundrede

Verdens befolkning vil fortsat vokse igennem det 21. århundrede. Det vil ske samtidig med at både industrialiserede lande og især udviklingslandene vil søge at øge deres velstand. Derfor vil verden bruge stadig mere energi. Verdens energiforbrug er i dag primært baseret på fossile energikilder som kul, olie og gas, og der er bred enighed om at fortsatte CO<sub>2</sub>-udledninger som følge heraf vil føre til globale klimaændringer igennem det 21. århundrede<sup>1</sup>.

Flere internationale organisationer vurderer at verdens energiforsyning om 100 år vil se meget anderledes ud end i dag. Den væsentligste ændring i forhold til i dag vil ifølge disse vurderinger være at de fossile energikilder (kul, olie og gas) vil udgøre en mindre andel af det samlede energiforbrug end i dag mens en stigende andel vil komme fra kombinationer af nuklear energi, vedvarende energi og biomasseenergi. Desuden påpeges det at den stigende velstand vil betyde at en stigende andel af verdens energi vil blive forbrugt som elektricitet<sup>2</sup>.

Dette betyder at der ligger en række meget store udfordringer vedrørende energiteknologi og energiforskning foran os i det 21. århundrede. De energiteknologier der bygger på kul, olie og gas, skal effektiviseres, der skal udvikles energibesparende teknologier, de kendte vedvarende energiteknologier skal forbedres, og der skal udvikles helt nye energiteknologier.

## 1.2 Ressourcer til energiforskningen

I midten af 1990'erne lå OECD-landenes totale udgifter til forskning og udvikling på lidt over 2% af landenes samlede bruttonationalprodukt (BNP). Dog med store forskelle: EU-landene lå på et niveau på under 2% mens de to teknologisk førende lande USA og Japan lå på et niveau over 2.5%<sup>3</sup>. Som det gælder for de samlede forskningsbudgetter, har også landenes energiforskning været stagnerende siden slutningen af 1980'erne. Japan og USA er traditionelt de lande der i absolutte tal anvender mest på offentlig energiforskning. I 1997 anvendte Japan således 0,88 promille og USA 0,28 promille af BNP på offentlig energiforskning inklusiv den nukleare forskning, mens Danmark anvendte 0,22 promille af BNP<sup>4</sup>. Se figur 1.

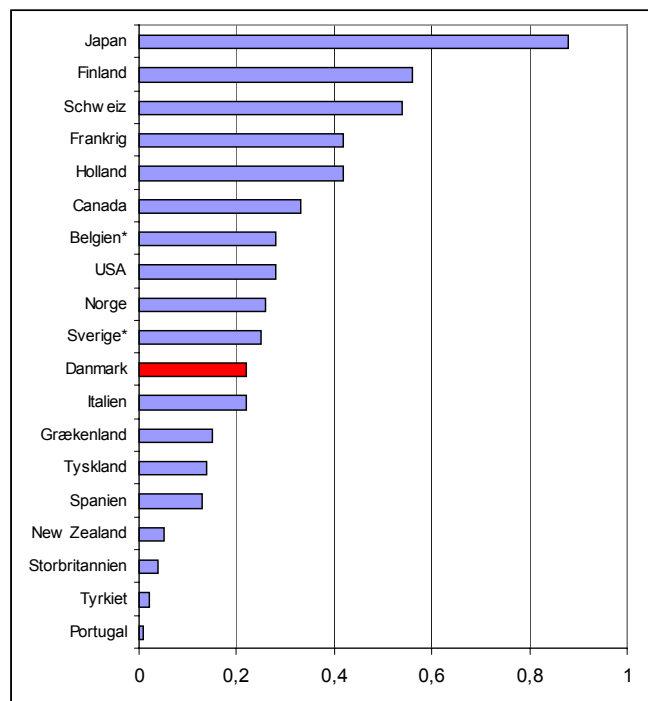
---

<sup>1</sup> Se fx: IPCC rapporter om klimaændringer eller <http://www.ipcc.ch>.

<sup>2</sup> Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond. Joint IIASA-WEC Study, WEC, London 1995, pp. 47-53.

<sup>3</sup> OECD, *Science, Technology and Industry Outlook*, Paris 1998, side 53.

<sup>4</sup> IEA, *Energy Policies of IEA Countries*, 1998 review. OECD/IEA Paris 1998.



Figur 1. En række industrialiserede landes offentlige udgifter til energiforskning og -udvikling som promille af bruttonationalproduktet i 1997. For Belgien og Sverige dog for 1996. Tallene er inklusive den nukleare forskning og udvikling. Kilde: IEA, Energy Policies of IEA Countries, 1998 review. OECD/IEA Paris 1998, side 287.

Der sker markante ændringer i forskningens rolle i disse år. OECD<sup>5</sup> peger her på nogle generelle trends for de kommende år: faldende eller stagnerende offentlige forskningsbudgetter, problemer med at foretage prioriteringer under de stagnerende ressourcer, øget samarbejde mellem forskningen, erhvervslivet og offentlige myndigheder, øget internationalisering samt kortere tidshorisont. Dette gælder også for den offentligt finansierede energiforskning. Det internationale energiagentur (IEA) der er knyttet til OECD - de industrialiserede landes samarbejdsorganisation - har peget på at der er sket en forskydning fra forskning i langsigtede muligheder for nye energiteknologier til opfyldelse af mere kortsigtede energipolitiske behov. Denne tendens forstærkes yderligere af liberaliseringerne af energisektorerne og øget industriel konkurrence<sup>6</sup>, og det vækker bekymring flere steder. En amerikansk undersøgelsen har vist at der er en snæver sammenhæng mellem landets energiforskningsudgifter og den teknologiske fornyelse på energiområdet målt i patenter<sup>7</sup>. Det amerikanske elektricitetsforskningsinstitut (EPRI) har gennemført en omfattende undersøgelse af USA's muligheder i lyset af de globale udfordringer på energiområdet. EPRI konkluderer blandt andet at de faldende investeringer i energirelateret forskning og udvikling truer USA's og verdens langsigtede økonomiske vækst, miljøet og sikkerheden. EPRI foreslår derfor at USA's energiforskning øges 2½ gang over de næste 10 år til 7,7 milliarder dollar årligt<sup>8</sup>.

<sup>5</sup> OECD, *Science, Technology and Industry Outlook*, Paris 1998.

<sup>6</sup> IEA, Review of Denmark's Energy Research Programme, 1992-1997, Energistyrelsen, juni 1999, side 25.

<sup>7</sup> Margolis, Robert and Daniel Kammen, "Evidence of Underinvestment in Energy R&D in United States and the Impact of Federal Policy". Energy Policy 27(1999) 575-584.

<sup>8</sup> EPRI, Electricity Technology Roadmap, 1999 Summary and Synthesis, Palo Alto, CA 1999.

Danmark har igennem de senere år brugt af størrelsesordenen 35 til 40 millioner dollar årligt på offentlig energirelateret forskning og udvikling. Dette kan synes som et forsvindende lille beløb sammenholdt med at der i alle de industrialiserede lande tilsammen bliver brugt omkring 8 til 9 milliarder dollar årligt på området – altså over 200 gange så meget. Den internationale evaluering af dansk energiforskning konkluderede imidlertid at Danmark har opnået en globalt førende position på områder som vindenergi, kulforbrænding og kraftvarme, samt at EFP har bevirket at Danmark har forskning i verdensklasse på områder som vindenergi og biomasseforbrænding<sup>9</sup>. På vindenergiområdet har Danmark opnået en forskningsmæssig og industriel førerposition på trods af at USA i begyndelsen (mellem 1973 og 1985) brugte 26 gange så mange penge på vindenergiforskning som Danmark<sup>10</sup>. Dansk energiforskning er altså ikke uden international gennemslagskraft.

### 1.3 Erhvervsmæssige muligheder og eksport

Der skal fortsat foretages meget store investeringer i verdens energiforsyning. Hvor meget, der skal investeres, afhænger af mange faktorer. World Energy Council har vurderet at disse investeringer vil være af størrelsesordenen 31.000 og 54.000 milliarder USD i perioden 1990 til 2050<sup>11</sup>. Så store tal er svære at forholde sig til. De siger egentlig blot at der skal udvikles, fremstilles og installeres en masse energiteknologi i de kommende årtier. De siger også at der ligger store erhvervsmæssige udfordringer og muligheder i energisektoren. Med henblik på disse muligheder har EFP (ud over at bidrage til de energipolitiske mål) også som formål at fremme andre samfundsmålsætninger som økonomisk udvikling, miljøforbedringer, erhvervsmæssig udvikling, øget beskæftigelse og eksport, styrkelse af forskningen samt øget uddannelse og interesse for energi blandt forskere og i erhvervslivet. EFP har endvidere til formål at bidrage til en global, bæredygtig udvikling igennem større udbredelse af dansk udviklet teknologi og viden der er tilpasset ulands- og østlandeforhold<sup>12</sup>.

På flere områder er dansk energiteknologi og danske energiteknologiske virksomheder blandt verdens førende. Endvidere er energiteknologi et dansk industrielt og eksportmæssigt vækstområde. De seneste tal viser at Danmarks eksport af energiteknologi i 1998 udgjorde over 16 milliarder kroner eller 5% af landets samlede eksport, samt at eksporten er i fortsat vækst. Omtrent en fjerdedel heraf er danske vindmøller. I 1999 eksporterede vindmølleindustrien alene for over 9 milliarder kroner, og branchen forventer også fremover en årlig vækst i eksporten af størrelsesordenen 40-50%<sup>13</sup>. Andre produkter er for eksempel termostater, pumper og fjernvarmerør. Det er vurderet at energiteknologiekseport i 1998 betød

---

<sup>9</sup> IEA, Review of Denmark's Energy Research Programme, 1992-1997, Energistyrelsen, June 1999, p. 72.

<sup>10</sup> Heymann, Matthis, Why Were the Danes Best? Wind Turbines in Denmark, West Germany, and the USA 1945-1985, Paper presented at the SHOT Annual Meeting 18-19 Oct. 1990, Cleveland. Deutsches Museum, Munich, FRG.

<sup>11</sup> Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond. Joint IIASA-WEC Study, WEC, London 1995, p 73.

<sup>12</sup> Energistyrelsen, Energiforskning – Status og Perspektiver, København, december 1995. Afsnit 4.1.1 og 4.1.5.

<sup>13</sup> Vindmølleindustriens Årsberetning 1999-2000. Windpower Note, nr. 23, marts 2000.

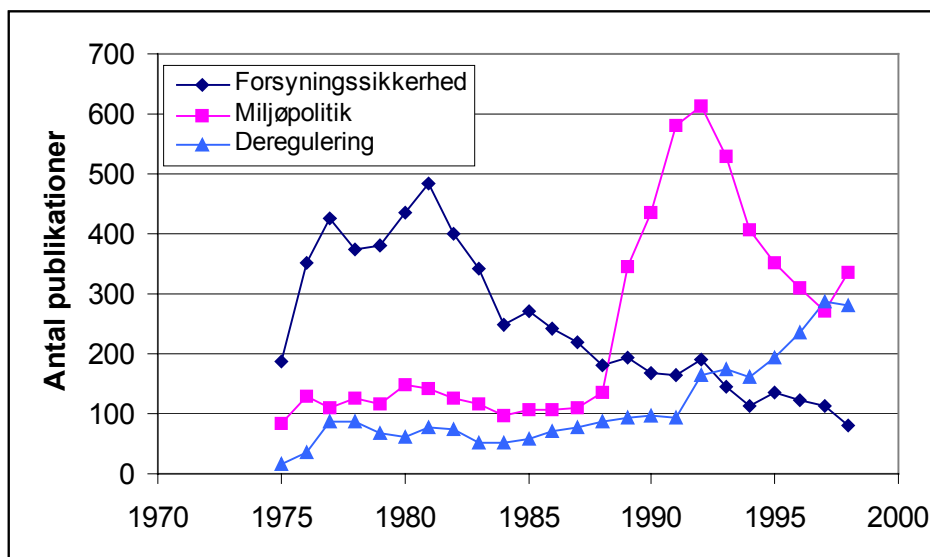


beskæftigelse til mere end 18.000 mennesker i Danmark. Til sammenligning udgjorde eksport af olie, naturgas m.v. godt 10 milliarder kroner i 1998<sup>14</sup>.

## 1.4 Internationale prioriteringer af energiforskningen

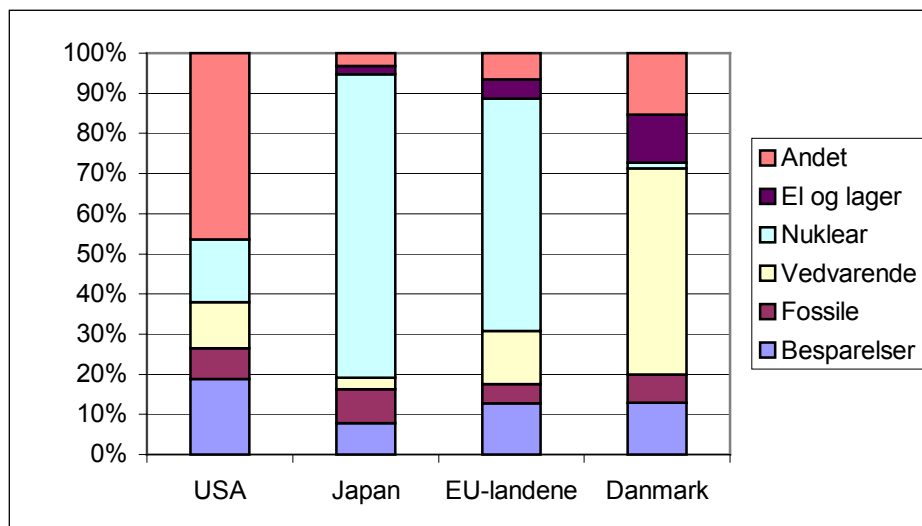
Landenes prioriteringer inden for energiforskning afspejler dels de generelle internationale trends på det energipolitiske område, dels landenes energipolitiske situation.

Med oliekriserne i 1970'erne blev der for alvor sat fokus på energipolitikken og energiforskningen i de industrialiserede lande. Igennem 1970'erne og begyndelsen 1980'erne var de dominerende energipolitiske emner knyttet til pålideligheden af olieforsyningen. Med stabiliseringen af oliepriserne og udgivelsen af Brundtland-rapporten fra 1987 blev globale miljøspørgsmål et dominerende energipolitisk emne. I dag og i de kommende år vil privatisering og deregulering af landenes energisektorer være meget højt på den energipolitiske dagsorden. Se figur 2.



Figur 2. Emner for videnskabelige publikationer kan give en indikation af generelle energipolitiske trends. Figuren viser antallet af publikationer der indeholder temaer vedrørende energipolitik samt henholdsvis forsyningssikkerhed, miljøpolitik og deregulering og dermed relaterede søgeord. Kilde: Søgninger i Energy Database fra IEA-Energy Technology Data Exchange ultimo marts 2000.

<sup>14</sup> Energistyrelsen, Eksport af produkter til energisektoren i 1998, Energistyrelsen september 1999.



Figur 3. Nationale energiforskningsbudgetter i 1997, enkelte EU-lande dog 1996. EU-landene omfatter de enkelte lande og ikke EU-Kommissionens energiforskning. Kilde OECD/IEA, Energy Policies of IEA Countries, 1998 Review.

IEA inddeler verdens energiforskning i seks hovedområder: 1) energibesparelser, 2) fossile brændsler (olie, gas, kul), 3) vedvarende energi, 4) nuklear energi (fusion og fission), 5) elektricitet, eltransmission og lagring, samt 6) energisystemanalyse og grundlæggende energirelateret forskning. Landenes prioriteringer af disse hovedområder afspejler ofte de enkelte landes energipolitiske situation. Lande som Japan og Frankrig bruger meget store beløb på forskning og udvikling vedrørende nuklear energi; henholdsvis 76% og 92% af landenes samlede energiforskning i 1997. Det betyder blandt andet at af de 15 EU-landes samlede nationale energiforskning udgør fransk nuklear forskning en betydelig andel. Norge bruger næsten halvdelen af landets energiforskning på olie- og gasområdet, mens lande som Sverige, Finland og Holland bruger betydelige andele på forskning og udvikling relateret til energibesparelser. Danmark er et af de lande der prioriterer vedvarende energi højest. USA har en betydelig grundforskningsindsats i sin nationale energiforskning - blandt igennem de såkaldte nationale laboratorier. Se figur 3. Generelt for alle de industrialiserede lande kan det konstateres at der er en øget offentlig forskningsindsats inden for energibesparelser og vedvarende energi, mens der er en faldende eller stagnerende forskningsindsats på alle andre hovedområder<sup>15</sup>.

## 2. De nyeste energiteknologier

IEA peger på at landenes energiforskning bør have både kort- og langsigtede elementer. Med kort sigt mener man indsats over for teknologier der kan bidrage til at opnå de reduktioner af emissioner som er opstillet i Kyotoaftalen. Internationale organisationer som IEA og World Energy Council (WEC) har opstillet anbefalinger for landenes energiforskning. WEC

<sup>15</sup> IEA, Review of Denmark's Energy Research Programme, 1992-1997, Energistyrelsen, juni 1999.

anbefaler i en nylig bog en række indsatsområder for nationale energiforskningsprogrammer: renere forbrændingsprocesser for fossile brændsler, teknologier for lagring eller binding af CO<sub>2</sub>, forbedret effektivitet for både produktion og forbrug af energi, nukleare energiteknologier herunder sikkerhedsaspekter, superledning for transport og lagring af elektrisk energi, vedvarende energiteknologier i udviklingsfasen samt teknologier for integration af decentrale energisystemer og for håndtering af korte fluktuationer i elektricitetssystemer<sup>16</sup>.

IEA understreger at der også er behov for en mere langsigtet energiforskning med mål for tiden efter 2020. Disse mål vil kunne nås dels gennem langsigtet forskning og udvikling, dels gennem støtte og incitamenter til indførelse af nye energiteknologier der endnu ikke er kommercielt konkurrencedygtige<sup>17</sup>. Den langsigtede energiforskning er ofte baseret på en række traditionelle grundlæggende forskningsområder som for eksempel materialeforskning (i keramiske materialer med henblik på højtemperaturgasturbiner), effektelektronik, proceskemi, sensorer, styringssystemer, m.v. Bioteknologisk forskning med langsigtede mål som biomasseproduktion, kunstig fotosyntese og biologisk baserede stoffer og materialer nævnes endvidere internationalt<sup>18</sup>.

I det følgende omtales nogle emner i den internationale energiforskning der er interessante set fra et dansk synspunkt.

## 2.1 Energibesparelser

En stor del af forskningen i energibesparelser foregår i den private sektor og har en forholdsvis kort anvendelsesmæssig horisont. Det drejer sig for eksempel om forbedring af isolationsmaterialer til bygninger, køleskabe og fjernvarmerør, vinduer med mindre varmetab, højere effektivitet for maskiner og belysning. Hertil kommer bedre udnyttelse af spildvarme ved elproduktion til boligopvarmning eller i industrien i form af kraftvarme - et område hvor Danmark er blandt de førende. Et lidt mere langsigtet område er udvikling af mere effektive motorer til biler og i det hele taget effektive og miljøvenlige transportsystemer. Inden for området elgeneratorer, elmotorer og eltransmission vil udviklingen af for eksempel effektelektronik og stærkere permanente magneter også kunne øge effektiviteten.

Et spændende eksempel på den mere langsigtede forskning er superledning som er ledninger uden elektrisk modstand. Ca. 10 % af den elektricitet der produceres i dag, går til at opvarme transmissionsledningerne på grund af deres elektriske modstand. Superledning opstår kun ved ekstremt lave temperaturer og blev opdaget allerede i begyndelsen af 1900-tallet. I 1986 skete der dog et gennembrud i forskningen idet man fandt materialer der var superledende ved temperaturer over minus 196 grader celsius. Dette lyder stadig meget lavt, men ved denne temperatur kan man køle kablerne med flydende kvælstof i stedet for med flydende helium hvilket gør teknikken både nemmere og billigere. Det har dog vist sig

---

<sup>16</sup> Energy for Tomorrow's World, Acting Now!, WEC Statement 2000. World Energy Council, London.

<sup>17</sup> IEA, The Role of Technology in Reducing Energy Related Greenhouse Gas Emissions, Governing Board and Management Committee, Meeting of the Governing Board at Ministerial Level, Paris drafted 3<sup>rd</sup> May 1999. (afsnit 4.1)

<sup>18</sup> IEA, The Role of Technology in Reducing Energy Related Greenhouse Gas Emissions, Governing Board and Management Committee, Meeting of the Governing Board at Ministerial Level, Paris drafted 3<sup>rd</sup> May 1999. (afsnit 4.2)

vanskeligt at fremstille store kabler af de nye materialer, og udviklingen har været langsommere end først forventet. Man er nu godt i gang med forsøg med større kabler, og i det næste årti vil man sikkert se større superledende elkabler installeret mange steder. Dansk forskning og industri er på dette felt blandt de førende i Europa. Selv om mekanismen bag højtemperatursuperledning ikke er forstået teoretisk, mener førende faststoffysikere ikke det er umuligt at vi med tiden kan få superledere der fungerer ved stuetemperatur. Bliver superledende kabler i fremtiden tilstrækkeligt billige, kan man forestille sig et Europa hvor portugisiske forbrugere får vindmøllestrøm fra Danmark, eller danske forbrugere i perioder får strøm fra solceller placeret i Sahara.

## 2.2 Fossile brændsler

En meget stor del af verdens elproduktion (ca. 65 %) foregår ved afbrænding af fossile brændsler som kul, olie og naturgas til at drive damp- og elgeneratorer<sup>19</sup>, og fossile brændsler vil fortsat være vigtige energikilder i lang tid fremover. Udvikling af en renere og mere miljøvenlig teknologi er derfor en stor og vigtig forskningsmæssig udfordring. En bedre udnyttelse af brændslet vil kunne formindske forureningen per produceret kilowatt-time. Dette kan ske på flere måder<sup>20</sup>. For at få den højest mulige virkningsgrad ved elproduktionen skal dampen eller gassen der bruges til at drive dampturbinerne, være under så højt tryk og så høj temperatur som mulig. Dette er simpelt hen et resultat af fysikkens love. En del forskning foregår med henblik på renere og mere effektiv forbrænding af kul, for eksempel i form forgasning af kul, direkte kulfyrede gasturbiner og bedre rensning af røggassen. Danske elværker har opnået nogle af verdens bedste resultater på disse områder. I det der på engelsk kaldes "combined cycle", bruges naturgas først i en gasturbine hvor den brænder ved meget høje temperaturer. Den varme udstødningsgas bruges derefter til at opvarme damp der så udnyttes i en dampturbine. Denne meget effektive udnyttelse af brændværdien af naturgassen betyder at elektricitet med sådan et system kan produceres med en virkningsgrad på over 50%<sup>21</sup>. For at komme endnu højere op i virkningsgrad forskes der i keramiske materialer og i avanceret design af gasturbiner og forbrændingskamre. USA regner med at renovere 1/3 af sine kraftværker efter ovennævnte principper i løbet af de næste 10 år.

## 2.3 Vedvarende energi

Globalt set kommer de største bidrag til vedvarende energi i dag fra vandkraft og afbrænding af træ og anden biomasse. Dertil kommer et lille, men stærkt voksende bidrag fra vindenergi. På kort sigt kan forskning inden for biomasse og vindkraft bidrage til en stigende udnyttelse og effektivisering af disse energikilder. Den mere langsigtede forskning i vedvarende energiteknologier drejer sig for eksempel om udvikling af konkurrencedygtige solceller til elproduktion, geotermisk energi, bølgeenergi og kunstig fotosyntese. Mens Danmark er førende på vindenergiområdet, både med hensyn til produktion og forskning, er der en begrænset indsats inden for geotermisk energi og solceller. Her står især Japan og USA stærkt.

---

<sup>19</sup> Siemens Power Generation, "Mankind, Technology, Responsibility", Erlangen, Germany, 1998.

<sup>20</sup> European Commission, Joint Research Centre, "The Future Project" Dec. 1999.

<sup>21</sup> European Commission DG XVII "Energy Technology", Brussels, 1997.

IEA skønner at biomasse i dag bidrager med ca. 14 % af verdens samlede energibehov. Størstedelen udnyttes dog lavteknologisk i ulande til opvarmning, madlavning m.v. Globalt forventes det at man i fremtiden vil udnytte biomasse og affald i større mængder til elproduktion. Mindre og middelstore anlæg til forbrænding af halm og træaffald findes allerede. Udviklingstendenserne går i retning af større anlæg, højere virkningsgrad og lavere emissioner via forbedret forbrænding og miljøanlæg. En interessant udvikling er anlæg til at forgasse biomasse og affald for derefter at anvende gassen i de ovennævnte avancerede anlæg med gasturbiner eller direkte i naturgasledningsnettet.

Energien i den årlige solindstråling til jorden er større end summen af de kendte reserver af kul, olie og gas. Solenergien er imidlertid ikke særlig koncentreret og er stærkt varierende på det enkelte sted på jorden. Solenergien kan direkte omsættes til elektricitet i solceller der imidlertid i den nuværende form er for dyre til at gøre solproduceret elektricitet økonomisk i lande som Danmark. I de store områder af verden der i dag ikke har elektricitet, kan en decentral elforsyning baseret på solceller imidlertid være attraktiv allerede i dag sammenholdt med mere traditionelle løsninger der ofte fordrer et udbygget elnet. Dette gælder specielt hvor det er svært eller dyrt at trække elledninger. Nye former for solceller er under udvikling og kan måske blive konkurrencedygtige, især hvis man forestiller sig dem som en integreret del af tagplader eller facadeelementer til nye huse. Sammen med et energilager kan sådanne huse måske blive selvforsynende med energi.

Vindenergi er velkendt i Danmark hvor 60 % af verdens vindmølleproduktion foregår. Vindmøllerne er dog langt fra færdigudviklet, og alt tyder på at vindmøller stadig kan blive billigere og mere effektive. I fremtiden vil der være brug for større møller (2-5 MW) i havplacerede vindmølleparker, middelstore landplacerede møller der passer godt i landskabet, og hvor støjgenerne er små, samt små effektive og billige møller til brug for elektrificering i udviklingslande. Optimal indpasning af vindmøller og andre decentrale elproducerende enheder i elnettet i forbindelse med et varierende forbrug og evt. lagre er et område der forskes i både internationalt og nationalt. Vindmølleteknologien vil også kunne drage fordel af mere tværgående energiforskning på områder som kraftelektronik og permanente magneter.

## 2.4 Elektricitet og energilagring

Elektricitet er energi i en form hvor produktionen hele tiden skal tilpasses forbruget. Dette kan specielt være vanskeligt når vindmøller og kraftvarmeverker samtidig skal indpasses i elsystemet. Der vil i perioder blive produceret mere el end der er brug for, det såkaldte el-overløb. I lande som Norge der har store vandkraftværker, kan man bruge disse til at regulere elforsyningen så den svarer til behovet, men i lande uden vandkraft som Danmark må man enten eksportere eloverløbet eller finde en måde at lagre energien på. Eloverløbet vil ofte kun kunne sælges til meget lave priser, og der kan derfor være god økonomi i at benytte energilagring. Et muligt lagringsmiddel i fremtiden er brint som til mange formål kan erstatte naturgassen. Fremstilling af brint giver anledning til et vist energitab, men den kan brænde forureningsfrit - kun under dannelse af vanddamp<sup>22</sup>. Brint kan bruges som naturgas til at producere elektricitet i kraftværker, men man kan også forestille sig at brint på lang sigt kan distribueres i et forsyningsnet til firmaer og boliger til opvarmning og madlavning.

Brint kan evt. fremstilles i brændselsceller der kan producere brint i perioder hvor man har overskud af el. Senere kan den lagrede brint i en brændselscelle bruges til at producere el. En

---

<sup>22</sup> IEA, "Energy technologies for the 21<sup>st</sup> century", Paris, 1997.

brændselscelle er en slags batteri som producerer elektricitet og varme direkte når den tilføres brændsel i form af ilt og brint. I en brændselsomformer kan brint produceres fra naturgas, metanol eller benzin. Brændselsceller kan fremstilles i forskellige udgaver; nogle vil være mest velegnede til stationær brug, andre kan tænkes anvendt i transportmidler som biler og busser. Fordelen ved brændselsceller er at de kan producere el uden bevægelige mekaniske dele, og at deres virkningsgrad kan blive høj - måske 50-60% eller over 70 % - hvis de kombineres med en gasturbine. IEA forventer at anlæg med brint i avancerede turbiner eller i hybridanlæg med brændselsceller og turbiner vil kunne være på demonstrationsstadiet om 20 til 30 år<sup>23</sup>. Til elproduktion kan man naturligtvis anvende brændselsceller på centrale kraftværker. Mere interessant er dog muligheden for en decentral anvendelse. På længere sigt kan man forstille sig at brændselsceller erstatter olie- eller gasfyret i det enkelte private hjem hvor de foruden at opvarme huset også producerer elektricitet til husets elektriske apparater. Et sådan kombineret system vil kunne få en virkningsgrad tæt på 100%. En anden fordel er at brændselsceller stort set er forureningsfri hvis brændslet er brint. Anvendes naturgas til brændselscellen, undgår man ikke CO<sub>2</sub>, men på grund af den høje virkningsgrad vil CO<sub>2</sub>-mængden dog være mindre i forhold til andre teknologier for elproduktion fra naturgas. Den danske forskning i brændselsceller der foregår i samarbejde med forskningscentre og firmaer i EU, er langt fremme.

Hvis man i fremtiden skal anvende brint i biler og andre transportmidler (busser, skibe), vil man have brug for et lagringsmedium. Til almindelige biler vil brint næppe være velegnet da det enten skal opbevares under tryk i trykflasker eller på flydende form i "termoflasker". Det sidste er energikrævende, og begge opbevaringsformer er ret tunge. Der er imidlertid muligt at omdanne brint og CO<sub>2</sub> til metanol eller ethanol (sprit) der kan benyttes direkte i en normal benzinmotor efter en mindre ændring. Man kan også forestille sig at have brændselsceller i bilen med ethanol som brændstof. Brændselscellen leverer så strøm til en elmotor der driver bilen.

Selv de mest avancerede genopladelige batterier er stadig meget tunge i forhold til den energimængde de kan indeholde. Elektriske biler der skal kunne køre flere hundrede kilometer mellem opladninger, ligger derfor stadig et stykke ud i fremtiden, og de tidligere nævnte muligheder med brændselsceller eller motorer der kører på sprit, er nok mere sandsynlig på mellemlang sigt. Batterier er imidlertid en oplagt mulighed til specielle køretøjer til for eksempel bykørsel. Hovedfordelen ved elektriske køretøjer er at de er forureningsfri og i øvrigt også næsten støjfri i forhold til almindelig benzindrevne biler. Store genopladelige batterier kan også i fremtiden tænkes at hjælpe med til at udligne variationer i elforbruget og kan hjælpe med til at nedsætte transmissionstabene<sup>24</sup>. Forskningen i batterier i Europa er forholdsvis begrænset.

Svinghjul til oplagring af energi er ikke nogen ny opfindelse, men udviklingen af nye lette stærke materialer har givet et nyt perspektiv i anvendelsesmulighederne. En af fordelene ved energilagring i svinghjul er at det er muligt at trække energien ud meget hurtigt. I for eksempel bybusser er svinghjulsenergi en mulighed. Biler og busser der kører i bymæssigt område, spilder meget energi hver gang de bremser op. Hvis denne "bremseenergi" oplagres i et svinghjul, kan den genbruges når bilen/bussen skal accelerere igen. Større svinghjulssystemer i elkraftsektoren til udjævning af forbruget er også en mulighed.

---

<sup>23</sup> IEA, "The Role of Technology in Reducing Energy Related Greenhouse Gas Emissions, Governing Board and Management Committee, Meeting of the Governing Board at Ministerial Level, Paris drafted 3<sup>rd</sup> May 1999. (side 4.5)

<sup>24</sup> New Sunshine Program, AIST, MITI, Tokyo, 1992.

Udviklingen af de nye superledere, som beskrevet tidligere, er også interessant for svinghjulsteknologien. Superledere har nemlig også specielle magnetiske egenskaber der gør at man kan lave tabsfri magnetiske lejer til svinghjulene. Et traditionelt svinghjul der skal køre i længere tid, mister en stor del af sin energi som gnidningsvarme i lejerne. Derfor vil gnidningsfri superledende lejer give svinghjulene mange nye anvendelsesmuligheder.

## 2.5 Energiteknologioversigt

I det følgende gives en kort oversigt over hvilke nye energiteknologier der forskningsmæssigt satses på internationalt. Det primære formål med forskningen er at opnå billigere energi med mindre forurening. Dette kan gøres ved at øge effektiviteten af kendte energikilder, at udvikle nyere energikilder samt at forbedre lagrings- og distributionssystemerne. Effektivisering og besparelser i forbrugsleddet vil mindske energibehovet og dermed også være medvirkende til formindsket ressourceforbrug og forurening. Oversigten er opdelt i teknologiområderne: forsyning, lagring, distribution, forbrug og systemanalyse.

### Forsyning

Forsyningen af el og varme sker med 1) fossile brændsler, 2) vedvarende energi og 3) nuklear energi, og der foregår teknologiforskning inden for alle tre områder.

#### *Fossile brændsler*

Avanceret forbrænding af fossile brændsler

- combined cycle
- avancerede gasturbiner

Brændselsceller til stationære formål

Elektrolyse

CO<sub>2</sub>-fri forbrænding

- CO<sub>2</sub>-lagring i hav eller undergrund
- kemisk udnyttelse af CO<sub>2</sub>

#### *Vedvarende energi*

Små vandkraftværker

Vind, store møller

Biomasse og affaldsforbrænding

Flydende biobrændsel

Solenergi

- solceller
- solfokuseringsanlæg
- artificiel fotosyntese

Bølge-, tidevand-, oceanenergi (termisk)

Geotermisk

Indpasning af forskellige forsyningsenheder til elnettet

#### *Nuklear energi*

Fusion

Avanceret fission

#### *Generelt*

Superledning – effektive elgeneratorer

Keramiske materialer til højtemperaturgeneratorer



## **Energilagring**

Brint

Metanol og andre flydende brændsler

Batterier / batterier spredt over nettet

Superledning (magnetspoler og svinghjul med tabsfri lejer)

Svinghjul

Vandreservoirer

## **Distribution**

Superledning - tabsfri elkabler og transformatorer

## **Forbrug**

*Industri*

*Bolig og kontor*

*Transport*

Lette materialer

Effektive motorer (keramiske materialer)

Hybridmotorer

Batterier

Brændselsceller

## **Systemanalyse**

# Appendiks

Portugal	0,01
Tyrkiet	0,02
Storbritannien	0,04
New Zealand	0,05
Spanien	0,13
Tyskland	0,14
Grækenland	0,15
Italien	0,22
Danmark	0,22
Sverige*	0,25
Norge	0,26
USA	0,28
Belgien*	0,28
Canada	0,33
Holland	0,42
Frankrig	0,42
Schweiz	0,54
Finland	0,56
Japan	0,88

Offentlige udgifter til energiforskning og udvikling som promille af BNP i 1997.

\*: For Belgien og Sverige er tallene for 1996.

Talmateriale til figur 1.

## Antal publikationer

Årstal	Forsynings-sikkerhed	Miljøpolitik	Deregulering
1975	187	85	17
1976	353	128	34
1977	427	109	88
1978	375	125	87
1979	382	116	67
1980	436	149	60
1981	483	143	77
1982	399	127	75
1983	341	115	53
1984	250	96	51
1985	272	108	57
1986	242	106	70
1987	220	111	76
1988	181	137	86
1989	193	346	95
1990	168	434	98
1991	165	582	95
1992	189	612	165
1993	146	530	174
1994	113	408	160
1995	134	353	195
1996	124	309	234
1997	113	272	288
1998	82	335	282

Tal i figur 2.

Søgning er foretaget i den internationale Energy Database fra IEA – Energy Technology Data Exchange ([www.etde.org](http://www.etde.org)). Databasen indeholder henvisninger til litteratur om alle aspekter af energi, og man kan få adgang til den på forskellig måde. Til denne rapport er databasen anvendt hos værtscenteret STN International.

Emnesøgning kan ske ved at søge på ord i titel, abstract, kontrollerede emneord og klassifikationskode. Til opgaven her er der valgt primært at søge på kontrollerede emneord for at undgå at få for mange irrelevante publikationer med.

*Søgeprofil for Forsyningssikkerhed og Energipolitik:*

- L1 ENERGY POLICY+NT/CT OR (ENERGY POLIC?)/TI OR\*293000/CC
- L2 (SUPPLY(3A)SAFETY)/TI
- L4 "SUPPLY AND DEMAND"/CT
- L5 L4 OR ENERGY SUPPLIES+NT/CT
- L6 L5 AND (SAFETY/CT OR RELIABILITY/CT OR AVAILABILITY/CT OR EMBARGOES/CT)
- L7 ENERGY SOURCE DEVELOPMENT/CT OR SUPPLY DISRUPTION/CT
- L8 (OIL(3A)CRISIS)/TI OR (ENERGY(3A)CRISIS)/TI OR SHORTAGES+NT/CT
- L9 (UNCERTAIN?(3A)SUPPLY)/TI OR (OIL EMBARGO?)/TI OR DOMESTIC SUPPLIES/CT
- L10 \*292000/CC
- L11 L1 AND (L2 OR L6 OR L7 OR L8 OR L9 OR L10)**

*Søgeprofil for Miljøpolitik og Energipolitik:*

- L1 ENERGY POLICY+NT/CT OR (ENERGY POLIC?)/TI OR\*293000/CC
- L2 ENVIRONMENTAL POLICY+NT/CT OR (ENVIRONMENT?(3A)POLIC?)/TI
- L3 US NATIONAL ENVIRONMENTAL POLICY ACT/CT OR POLLUTION LAWS+NT/CT
- L4 NATIONAL ENVIRONMENTAL POLICY ACT/CT OR (POLLUT?(3A)POLIC?)/TI OR 290300/CC
- L5 L1 AND (L2 OR L3 OR L4)**

*Søgeprofil for Deregulering og Energipolitik:*

- L1 ENERGY POLICY+NT/CT OR (ENERGY POLIC?)/TI OR\*293000/CC
- L2 DEREGULATION/CT
- L4 COMPETITION/CT OR CARTELS/CT OR MONOPOLIES/CT
- L5 DEREGULAT? OR LIBERALI?
- L10 L1 AND (L2 OR L4 OR L5)**

	USA	Japan	EU-landene	Danmark
Besparelser	419,92	293,75	214,4	4,63
Fossile	173	317,53	79,41	2,57
Vedvarende	256,85	109,04	221,92	18,46
Nuklear	348,63	2850,31	970,98	0,51
El og lager		74,71	78,59	4,33
Andet	1038,75	120,64	110,1	5,5
Total	2237,15	3765,98	1675,4	36

USD i 1997, 1997 priser og kurser.									
EU-landene (ekskl Irland, Luxembourg, og med 1996-tal for Østrig, Belgien, Sverige)									

Tal i figur 3.

**Bibliographic Data Sheet****Risø-R-1194(DA)**

Title and author(s)

Global perspective of Denmark's energy research (in Danish)

P. Dannemand Andersen, Systems Analysis Department

P. Kerff Michelsen, Optics and Fluid Dynamics Department

L. Nissen, Information Service Department

ISBN

87-550-2719-9 (Internet)

ISSN

0106-2840

Dept. or group

Systems Analysis Department

Date

July 2000

Pages

19

Tables

Illustrations

3

References

24

Abstract (max. 2000 char.)

This report has been prepared at the request of the Danish Energy Agency. The aim of the report was to work out a short article about the international trends within Danish energy R&D; the article was used in the 1999 annual report of the Danish Energy Research Programme (ERP).

The objective of the article was to put the Danish R&D activities within ERP in perspective by giving the reader (1) a short introduction to international trends of development within energy research and (2) an overview of Denmark's strong points within energy research. The target group of the article was the general public.

Descriptors INIS/EDB

**DENMARK; ENERGY; GLOBAL ASPECTS; RESEARCH  
PROGRAMMES; REVIEWS**

Available on request from Information Service Department, Risø National Laboratory  
(Afdelingen for Informationsservice, Forskningscenter Risø), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.  
Telephone +45 46 77 4004, telefax +45 46 77 40 13